

УДК 666.362.004.8**Е.Ю. ФЕДОРЕНКО**, докт. техн. наук, доцент, профессор кафедры,**М.И. РЫЩЕНКО**, докт. техн. наук, профессор, заведующий кафедрой,**Е.Б. БОГДАНОВА**, канд. техн. наук, научный сотрудник,**Л.В. ПРИСЯЖНАЯ**, аспирантНациональный технический университет «Харьковский политехнический институт»
(НТУ «ХПИ»), г. Харьков

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТХОДОВ ДОБЫЧИ И ПЕРЕРАБОТКИ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ В КАЧЕСТВЕ ИНТЕНСИФИКАТОРА СПЕКАНИЯ В ТЕХНОЛОГИИ ПЛОТНОСПЕЧЕННОЙ СТРОИТЕЛЬНОЙ КЕРАМИКИ

Исследованы составы и свойства отходов ряда предприятий горно-обогатительного комплекса и показано положительное влияние изученных отходов на интенсификацию процессов жидкофазового спекания при производстве плотнospеченной керамики. На основе анализа практического опыта и результатов собственных исследований определены перспективные направления использования техногенных материалов, образующихся при переработке щелочесодержащих пород (гранитов, сиенитов, пегматитов и щелочных каолинов) для получения керамического клинкера, кислотоупоров, керамогранита и санитарно-технических изделий строительной керамики.

Ключевые слова: строительная керамика, техногенные материалы, ресурсосберегающие технологии, жидкофазовое спекание, интенсификатор спекания.

На территории Украины расположено значительное количество месторождений кварц-полевошпатового сырья (КПШС), в связи с чем по общим запасам кварц-полевошпатовых материалов (КПШМ) наша страна занимает шестое место в мире. В то же время по добыче таких материалов Украина только тридцать девятая, при этом потребность в них покрывается за счет собственных запасов менее чем на 15 %, что обусловлено повышенным содержанием красящих оксидов в отечественных КПШМ [1]. Необходимость их обогащения с целью удаления включений темноцветных минералов [2, 3] вызвана строгими требованиями сводного стандарта [4] к качеству КПШС в производстве технической и строительной керамики, изделий стекольной промышленности, а также эмалей и глазурей.

Актуальной проблемой является комплексное использование отходов горно-обогатительных комбинатов (ГОК) – как раскрывных пород (при открытом способе разработки месторождений), так и отвальных (при освоении месторождений подземным способом).

Мировой объем добычи полезных ископаемых оценивается сегодня примерно в 650 млрд т, однако в про-

изводстве используется не более 10 % этого объема, а сотни миллиардов тонн раскрывных и вмещающих пород становятся отходами горнодобывающих и горно-перерабатывающих производств [5]. В Украине ежегодный объем образования горнопромышленных отходов составляет ~800 млн т, а объемы накопления отходов добычи полезных ископаемых и их первичной переработки уже превышают 35 млрд т [6]. Характерное для таких техногенных образований повышенное содержание щелочных и щелочноземельных оксидов открывает широкие возможности для их эффективной утилизации, в частности в производстве плотнospеченной керамики. При этом отходы добычи (вскрышные породы и горная масса с низким содержанием полезных ископаемых) используются в настоящее время примерно на 40 %, а отходы обогащения – лишь на 10 % [7].

Отходы горнодобывающей промышленности разнообразны и крупнотоннажны. По составу и свойствам они не уступают полезным ископаемым, что обуславливает перспективность их применения в качестве дополнительных техногенных ресурсов. На участках развития калиевых гранитов на территории Украинского кристалличе-



ского щита осуществляется разработка многочисленных карьеров по добыче пород и их переработке на бутовый камень и щебень. Согласно приблизительным оценкам общий объем отсева дробления интрузивных горных пород составляет около 15 млн м³, что позволяет говорить о формировании техногенных месторождений, которые следует рассматривать как минерально-сырьевую базу для производства разнообразной продукции [5, 8, 9].

Наибольшее распространение получило использование отходов камнедобывающих предприятий в материалоёмких областях строительства, таких как сооружение транспортных путей, производство железобетонных конструкций и др. Кроме того, рассматриваемые отходы можно применять в технологии производства строительной керамики без предварительного обогащения или перерабатывать их для получения кварц-полевошпатовых концентратов [10, 11].

Ценным сырьем для получения таких концентратов, используемых для изготовления керамики и стекла, являются продукты обогащения пегматитов и щелочных каолинов. Большое количество отходов образуется при механической обработке гранитов, сиенитов, габбро, диабазов, лабрадоритов в процессе производства отделочного камня. Многоотоннажные отходы механической обработки горных пород и обогащения редкометаллических, апатитовых, ильменитовых, нефелиновых, цирконовых и других руд также являются перспективным сырьем для получения керамических и композиционных материалов, применяемых для изготовления строительных, абразивных и фильтрующих изделий [12]. Так, например, хвосты обогащения титанцирконовых руд Малышевского месторождения представляют собой техногенные образования измельченных плагиоклазовых пород объемом свыше 120 млн т. Неоднородность их состава требует разведки хвостохранилищ как техногенных месторождений [13].

В периодической литературе представлен ряд исследований, посвященных использованию отходов горнодобывающих предприятий в различных керамических технологиях [13–19]. В публикациях [10, 18, 19] отмечено положительное влияние гранитных отсеков, отходов обогащения щелочных сиенитов, базальтов, туфов и других горных пород на степень спекания и улучшение эксплуатационных характеристик керамических материалов.

При изучении возможностей использования техногенного минерального сырья в производстве керамики следует учитывать требования, предъявляемые к качеству и стабильности характеристик такого сырья. Выбор направлений рационального использования отходов добычи, переработки и обогащения горных пород должен основываться на результатах их комплексного исследо-

вания, включающих оценку радиационной безопасности, определение химико-минерального состава и основных технологических свойств (дисперсности, цвета, условий плавления и др.).

Целью данной работы является исследование состава и технологических свойств отходов горнодобывающих и обогащательных предприятий и определение направлений их эффективного использования в технологиях получения плотноспеченной строительной керамики.

Многолетний опыт керамического производства и собственные исследования авторов [20–22] доказывают перспективность широкого использования горнопромышленных отходов для изготовления керамических изделий с высоким уровнем спекания.

В рамках данной работы с помощью методов химического, петрографического, гамма-спектрометрического и рентгенофазового анализа исследованы отходы переработки интрузивных пород на щебень (гранитные отсеки Каранского карьера и сиенитовые отсеки Старокрымского карьера), отходы шлифовки и полировки гранитных плит ООО «Камни-АКАМ», г. Днепр (отходы механической обработки гранитов Капустинского и Межереченского месторождений), а также отходы электромагнитного обогащения лозоватских пегматитов (ООО «Георесурс», с. Лозоватка, Кировоградская область) и флотационного обогащения титанцирконовых руд Малышевского месторождения (ДАО «Объединенная горно-химическая компания»).

Флюсующую способность отходов оценивали с привлечением прогнозного физико-химического анализа, методика проведения которого подробно изложена в работах [23, 24] и заключается в установлении характеристик плавкости (температур плавления, количества и свойств расплава, образующегося при заданных температурах обжига изделий).

Эксплуатационные свойства изделий строительной керамики, полученных с применением исследованных отходов, определяли согласно действующим стандартам [25, 26].

При изучении минерального состава исследуемых отходов установлено, что главными породообразующими минералами отсеков каранских гранитов являются микроклин, плагиоклаз и кварц, при этом содержание полевошпатовых минералов изменяется в пределах, масс. %: микроклин KAlSi_3O_8 – 56–68; альбит $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ – 24–32; анортит $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ – 5–10. Темноцветные минералы гранитных отсеков (суммарно до 3 масс. %) представлены биотитом $\text{K}(\text{Fe}, \text{Mg})_3[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}](\text{OH}, \text{F})_2$ и роговой обманкой $\text{Ca}_2(\text{Mg}, \text{Fe}, \text{Al})_5(\text{Al}, \text{Si})_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$. В виде аксессуарных минералов (суммарно до 1 масс. %) присутствуют рутил TiO_2 , циркон ZrSiO_4 , апатит $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH}, \text{F}, \text{Cl})_2$, титанит CaTiSiO_5 . Сиенитовые породы Старокрымского месторож-

дения в основном состоят из нефелина $\text{Na}_3\text{K}[\text{AlSiO}_4]_4$ (30–33 масс. %), кислого каолинизированного плагиоклаза (36–44 масс. %) и микроклина (15–19 масс. %). Содержание темноцветных минералов (биотит + роговая обманка) достигает 4–6 масс. %. Спектр аксессуариев следующий: канкринит $\text{Na}_6\text{Ca}[\text{CO}_3](\text{AlSiO}_4)_6 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, магнетит FeFe_2O_4 , ильменит FeTiO_3 , пирохлор $(\text{Na}, \text{Ca})_2\text{Nb}_2\text{O}_6(\text{OH}, \text{F})$ и содалит $\text{Na}_8[\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}]\text{Cl}_2$. В состав флотационных хвостов титанцирконовых руд входят минералы, масс. %: плагиоклазы (смесь олигоклаза $\text{Na}_{0,9}\text{Ca}_{0,1}\text{Al}_{1,3}\text{Si}_{2,7}\text{O}_8$ и анортоклаза $(\text{Na}, \text{K})[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$) – 65–77; кварц SiO_2 – 24–32; авгит $\text{Ca}(\text{Mg}, \text{Fe}, \text{Al})[(\text{Si}, \text{Al})_2\text{O}_6]$ – 10–15; слюды (мусковит $\text{KAl}_2[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}](\text{OH})_2$ и биотит $\text{K}(\text{Mg}, \text{Fe})_3[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}](\text{OH}, \text{F})_2$) – 1,5–2,5; рудные минералы – 8–10; рутил – 1,5–2,5; ильменит – до 2. Аксессуарные минералы представлены бурой роговой обманкой, гранатом $(\text{Mg}, \text{Fe}, \text{Ca})_3\text{Al}_2[\text{SiO}_4]_3$ и титаномагнетитом Fe_2TiO_4 . В отходах механической обработки гранитов идентифицированы кварц (32–35 масс. %), альбит (29–32 масс. %), микроклин (30–33 масс. %), а также биотит и мусковит (до 2 масс. % суммарно). Отходы сухой электромагнитной сепарации пегматитов Лозоватского месторождения содержат кварц (28–30 масс. %), альбит (36–38 масс. %), микроклин (25–27 масс. %) и аксессуарные минералы – циркон, рутил, титанит.

Составы исследованных отходов, определенные по результатам химического анализа, представлены в табл. 1.

Основными критериями качества КПШС, пригодного для производства строительной керамики, в т.ч. керамогранитных плиток и санитарно-технических изделий, являются (согласно стандартам [4 и 26]) суммарное содержание щелочных оксидов ($\Sigma \text{R}_2\text{O} = 7\text{--}9\%$), калиевый модуль ($\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O} = 0,5\text{--}0,9$) и ограниченное содержание оксидов ($\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO} = 0,2\text{--}0,3\%$, $\text{CaO} + \text{MgO} = 1,5\text{--}2,5\%$). В то же время для производства глазурованного керамогранита и клинкерных керамических изделий (плитки, сте-

нового и дорожного кирпича) допускается использование КПШС с повышенным содержанием щелочноземельных ($\text{CaO} + \text{MgO}$) и красящих ($\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}$) оксидов.

Следует также отметить, что зарубежные производители санитарно-технической керамики используют плавни с повышенным содержанием оксидов CaO , MgO , Fe_2O_3 , FeO , TiO_2 . Это позволяет расширить сырьевую базу керамического производства и уменьшить себестоимость продукции при сохранении высоких технических и эстетических характеристик за счет использования белых заглушенных глазурей, скрывающих цвет керамической основы [27].

Анализ результатов исследования химического состава отходов, указанных в табл. 1, свидетельствует о возможности их использования в качестве флюсующего компонента керамических масс.

Однако необходимо учитывать, что в горных породах зачастую присутствуют естественные радиоактивные элементы (U, Th, K, Cs, Ra). Например, в составе руд титанцирконовых россыпей, как правило, присутствует монацит $(\text{Ce}, \text{La}, \text{Nd}, \text{Th})[\text{PO}_4]$, обладающий естественной радиоактивностью из-за содержания ^{232}Th (5–10 масс. %). Применение минерального сырья с повышенным содержанием радионуклидов создает потенциальную опасность для здоровья человека, в связи с чем оно должно быть ограничено.

Показатель радиоактивности отходов, образующихся при обогащении горных пород, нормируется в Украине [28]. Одним из основных критериев, используемых для радиационной оценки природного сырья, является эффективная удельная активность природных радионуклидов ($A_{\text{эфф}}$) [29].

Значения $A_{\text{эфф}}$ рассчитывали по принятой в источнике [29] методике с учетом удельных активностей природных радионуклидов, которые определяли на гамма-спектрометре СУГ-001 «АКП-С». Результаты исследований радиа-

Таблица 1 – Химический состав исследуемых отходов

Наименование материала	Содержание оксида, масс. %								
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	п.п.п.
Отсевы сиенитов старокрымских	68,8	15,1	3,0	0,12	2,33	1,77	4,4	3,76	0,72
Отсевы гранитов каранских	72,19	15,2	2,4	1,08	0	0,89	4,33	3,02	0,89
Отходы механической обработки гранитов*	73,74	11,5	2,0	0,66	2,29	–	5,59	3,51	0,71
Флотационные хвосты титанцирконовых руд	54,86	21,1	5,24	0,79	10,0	3,2	0,74	3,52	0,55
Отходы обогащения пегматитов лозоватских	74,6	14,26	0,74	0,08	0,45	0,25	4,40	4,47	0,75

* Имеются в виду граниты Капустинского и Межереченского месторождений.



ционных свойств отходов (табл. 2) указывают на то, что отсеvy старокрымских сиенитов, отходы механической обработки гранитов Капустинского и Межереченского месторождений и отходы обогащения лозоватских пегматитов относятся к 1-му классу радиационной безопасности ($A_{эфф} \leq 350 \text{ Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$) и могут быть использованы без ограничений в производстве строительных материалов и изделий для широкого потребления. У каранских гранитных отсеvов значение $A_{эфф}$ превышает нормативный показатель, установленный для материалов 1-го класса радиационной без-

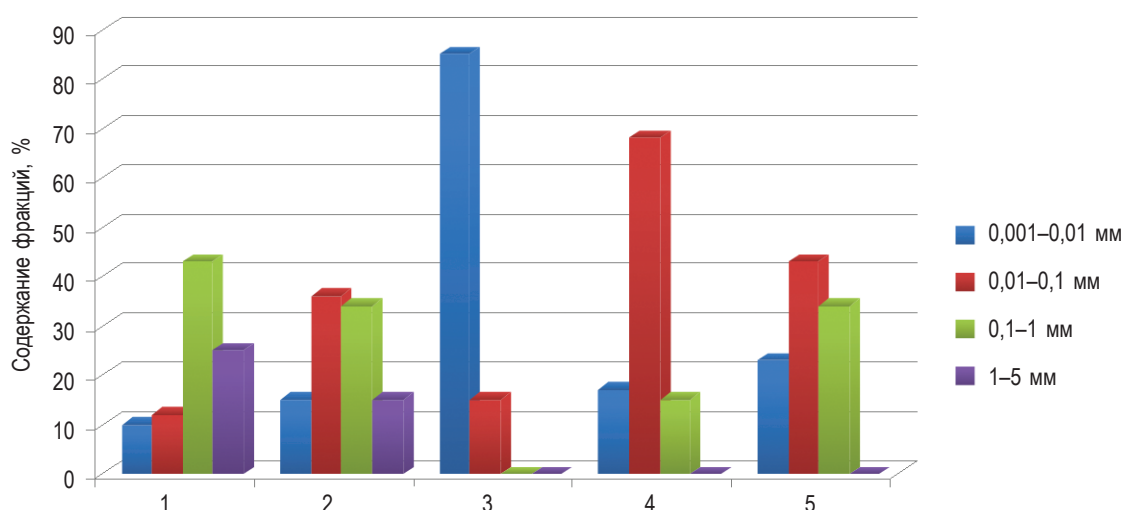
опасности, что ограничивает их применение (эти материалы можно использовать для промышленного и дорожного строительства, а также для изготовления стройматериалов). Отходы, образующиеся в результате флотационного обогащения хвостов титанцирконовых руд Малышевского месторождения, характеризуются $A_{эфф} \leq 1,5 \text{ кБк}\cdot\text{кг}^{-1}$ и относятся (в соответствии с классификацией производственных отходов горнодобывающих предприятий) к 1-й категории.

Гранулометрический состав исследуемых отходов представлен на рис. 1.

Таблица 2 – Радиационные свойства исследуемых отходов

Наименование материала	Удельная радиоактивность материала, Бк·кг ⁻¹ (вклад, %)				Суммарная удельная активность, Бк·кг ⁻¹	$A_{эфф}$, Бк·кг ⁻¹
	²³² Th	²²⁶ Ra	⁴⁰ K	¹³⁷ Cs		
Отсевы сиенитов старокрымских	81,7 (4,16)	15,20 (0,77)	1865 (95,05)	0,42 (0,02)	1953,32	280,88
Отсевы гранитов каранских	105 (7,44)	159 (11,27)	1147 (81,29)	–	1411	394,05
Отходы механической обработки гранитов*	73,62 (3,60)	18,15 (0,90)	1950 (95,45)	1,04 (0,05)	2042,81	280,66
Флотационные хвосты титанцирконовых руд	356 (18,65)	27,8 (1,45)	1525 (79,89)	–	1908,8	623,78
Отходы обогащения пегматитов лозоватских	14,2 (0,72)	16,6 (0,85)	1930 (98,4)	–	1961	199,7

* Граниты Капустинского и Межереченского месторождений.



Исследуемые отходы:

- 1 – Отсевы сиенитов старокрымских
- 2 – Отсевы гранитов каранских
- 3 – Отходы механической обработки гранитов Капустинского и Межереченского месторождений
- 4 – Флотационные хвосты титанцирконовых руд
- 5 – Отходы обогащения пегматитов лозоватских

Рисунок 1 – Гранулометрический состав исследуемых отходов

Эффективность материалов, применяемых для интенсификации процесса спекания керамики, в значительной степени определяется его дисперсным состоянием. Поскольку типовые технологии грубой строительной керамики не предусматривают тонкого измельчения компонентов керамических масс, природная дисперсность отхода является важным критерием его применимости в производстве клинкерного кирпича и черепицы. Данному требованию полностью удовлетворяют отходы механической обработки гранитов.

Обобщение результатов исследований [30, 31] по разработке изделий плотнospеченной керамики разного функционального назначения и учет особенностей их обжига позволили сформулировать технологические принципы и установить параметры получения строительной керамики с высокой спекаемостью (табл. 3).

Как показали исследования, главным фактором, определяющим формирование плотнospеченных керамических материалов и изделий из них, является обоснованный выбор интенсификатора спекания на основе сведений о характеристиках расплава, образующегося при температуре обжига изделий. Доминирующим фактором при выборе интенсификатора спекания керамических масс является флюсующая способность материала, которую определяют качественные и количественные характеристики плавкости. Так, для изделий, обжигаемых по скоростным режимам (плитка для пола, керамогранит), необходимо обеспечить образование до 30–35 об. % маловязкого ($\eta = 10^{3,0}–10^{3,5}$ Па·с) расплава с низким поверхностным натяжением ($\sigma = 0,24–0,28$ Н/м),

способного ускорить процесс спекания и формирование муллитовой фазы. Для изделий, технология изготовления которых предполагает длительный обжиг (клинкерный кирпич или плитка, черепица, санитарно-техническая керамика), расплав, образующийся при нагревании плавня, должен отличаться повышенными показателями вязкости ($\eta = 10^{3,7}–10^{4,7}$ Па·с) и поверхностного натяжения ($\sigma = 0,28–0,32$ Н/м), а его количество может достигать (в зависимости от заданных свойств готовых изделий) 35–55 об. %.

Характеристика свойств расплавов, образующихся при плавлении исследуемых отходов в интервале температур 1100–1200 °С, приведена в табл. 4.

Анализ представленных данных свидетельствует о том, что в указанных температурных условиях не происходит полного плавления ни одного из исследуемых отходов, однако при температуре обжига 1200 °С все они способны образовать большое количество расплава ($Q \geq 80$ %). Показатели поверхностного натяжения таких расплавов удовлетворяют условиям длительного обжига (за исключением расплава отходов механической обработки гранитов).

Расплавы, образующиеся из каранских гранитных отсеков и отходов обработки гранитов Межереченского и Капустянского месторождений в рассмотренном интервале температур, обладают повышенной вязкостью ($\lg \eta > 4$), в отличие от расплавов отсеков старокрымских сиенитов и отхода обогащения лозоватских пегматитов. Последний имеет ряд преимуществ как интенсификатор спекания, поскольку образует максимальное количество

Таблица 3 – Технологические принципы и параметры получения плотнospеченной строительной керамики

Рекомендованные параметры получения плотнospеченной строительной керамики	В условиях скоростного обжига	В условиях длительного обжига
Параметры термообработки: – температура, °С – продолжительность, час	1100–1200 0,8–1	1100–1200 24–48
Содержание компонентов оксидных композиций, масс. %: – Na ₂ O – K ₂ O – Al ₂ O ₃ – SiO ₂	1–14 1–18 11–37 65–75	1–10 1–15 20–45 55–65
Характеристика расплава интенсификаторов спекания*: – количество, об. % – вязкость, Па·с – поверхностное натяжение, Н/м	30–35 10 ^{3,3} –10 ^{3,5} 0,24–0,28	35–55 10 ^{3,6} –10 ^{4,7} 0,28–0,32
Использование интенсификаторов фазообразования	Ca ²⁺ , Mg ²⁺	Ti ⁴⁺ , Sn ⁴⁺ , Fe ³⁺

* При температуре обжига изделий.



Таблица 4 – Свойства расплавов, образующихся при плавлении исследуемых отходов в интервале температур 1100–1200 °С

Количество и свойства расплава	Вид отходов				
	Гранитные отсеvy	Сиенитные отсеvy	Отходы механической обработки гранитов*	Флотационные хвосты титан-цирконовых руд	Отходы обогащения пегматитов
Количество, Q, об. % при температуре					
1100 °С	66,0	65,6	63,0	61,5	96,6
1150 °С	77,4	79,2	73,3	74,5	98,0
1200 °С	86,2	88,8	80,5	85,0	98,5
Вязкость, $\lg \eta$, Па·с при температуре					
1100 °С	4,45	3,75	4,32	2,90	3,70
1150 °С	4,33	3,62	4,21	2,76	3,49
1200 °С	4,29	3,35	4,16	2,35	3,15
Поверхностное натяжение, $\sigma \cdot 10^3$, Н/м при температуре					
1100 °С	280	292	274	289	276
1150 °С	282	294	276	291	278
1200 °С	283	297	277	293	281

* Граниты Капустинского и Межереченского месторождений.

расплава (~ 98 %) с вязкостью $10^{3,49}$ Па·с уже при температуре 1150 °С. При этом в интервале температур 1150–1200 °С количество и свойства расплава меняются незначительно, что исключает его лавинообразное накопление и деформацию изделий при длительном обжиге.

Как видно из полученных данных, отход, образующийся при флотации титанцирконовых руд при температуре 1200 °С, плавится с образованием ~ 85 %-го маловязкого расплава ($\lg \eta = 2,35$ Па·с). Это указывает на целесообразность его использования для интенсификации спекания керамических масс в производстве плиток для пола и керамогранита, технология получения которых предусматривает скоростные режимы обжига изделий в однорядных щелевых печах. Следует, однако, отметить, что при повышении температуры обжига до 1200 °С количество расплава существенно увеличивается, а его вязкость снижается до $10^{2,35}$ Па·с, что приводит к сокращению интервалов спекания и спеченного состояния изделий при обжиге. В связи с этим использование данного отхода в производстве клинкерного кирпича и черепицы требует осторожности, поскольку его повышенное содержание в керамической массе может вызвать высокотемпературную деформацию изделий в условиях длительного (до 2 сут) обжига. По той же причине нежелательно использовать данный отход

в случае, если обжиг изделий производится в тепловых агрегатах, для которых характерен большой перепад температур по сечению печного пространства.

Исходя из анализа и обобщения полученных данных сформулированы критерии для выбора отходов на роль интенсификаторов спекания керамических масс в производстве различных видов плотноспеченной строительной керамики (табл. 5).

Результаты исследований показали, что отсеvy старокрымских сиенитов по комплексу показателей, характеризующих флюсующую способность плавней, могут служить интенсификатором спекания керамических масс в производстве клинкерных керамических изделий и кислотоупоров с температурой обжига 1150 °С. Хвосты флотации титанцирконовых руд рекомендуется использовать в технологии получения кислотоупорных и плотноспеченных керамических плиток для промышленного строительства. Отход обогащения пегматитов Лозоватского месторождения следует рассматривать как эффективный интенсификатор спекания керамических масс в производстве санитарно-технических изделий.

Учитывая качественные и количественные характеристики расплавов, можно рекомендовать применение каранских гранитных отсеvy и отходов механической обработки гранитов (ООО «Камни-АКАМ») в технологии

Таблица 5 – Критерии для выбора отходов добычи и переработки горных пород для производства плотноспеченной строительной керамики

Вид изделий плотноспеченной керамики	Особенности химического состава				Характеристика расплава при заданной температуре обжига		
	$K_2O + Na_2O$, масс. %, не менее	$\frac{K_2O}{Na_2O}$	$Fe_2O_3 + FeO$, масс. %	$CaO + MgO$, масс. %	Q, об. %, не менее	η , Па·с	σ , Н/м
Плитка для пола	7	1–2	Не более 3,5	1–3	75	$10^{3,0}-10^{3,7}$	0,26–0,28
Керамогранит	7	1–2	Не более 3,5	1–3	75	$10^{3,0}-10^{3,7}$	0,26–0,28
Кислотоупоры	5	2–3	3–6	1–4	55	$10^{3,3}-10^4$	0,28–0,33
Черепица	5	2–3	3–6	1–4	55	$10^{3,3}-10^4$	0,28–0,33
Клинкерный кирпич и плитка	4	3–3,5	3–9	1–6	40	$10^{3,7}-10^5$	0,35–0,40
Санитарно-технические изделия	8	2–3	Не более 0,5	Не более 2,5	80	$10^{3,7}-10^{4,7}$	0,28–0,32

получения керамического клинкерного кирпича и черепицы в качестве отошающей добавки, способной проявлять флюсующее действие. При этом более перспективными для производств, технологические линии которых не предусматривают использования оборудования для тонкого помола камнеподобных материалов, являются не требующие дополнительной подготовки высокодисперсные отходы механической обработки капустинских и межереченских гранитов (рис. 1).

Эффективность разработанных рекомендаций по использованию отходов горнодобывающих предприятий в производстве плотноспеченной строительной керамики подтверждена созданием и реализацией ресурсо- и энергосберегающих технологий в производстве клинкерного кирпича (ООО «Керамейя», г. Сумы) и керамогранитной плитки (ЗАО «Zeus Ceramica», г. Славянск).

ВЫВОДЫ

1. В результате проведенных исследований установлены химико-минеральный и гранулометрический составы отходов ряда отечественных горнодобывающих и обогатительных предприятий, изучены радиационные свойства и флюсующая способность этих отходов. Совокупность полученных данных свидетельствует об эффективности применения отходов добычи и обработки сиенитов и гранитов, а также отходов обогащения пегматитов и титанцирконовых руд для интенсификации

процесса спекания керамических масс при производстве изделий из плотноспеченной строительной керамики.

2. С учетом особенностей обжига таких изделий определены рациональные области применения исследованных отходов и разработаны критерии для выбора техногенных материалов, которые целесообразно использовать в качестве интенсификатора спекания при изготовлении плотноспеченных изделий строительного назначения – клинкерного кирпича и экструдированной плитки, кислотоупоров и черепицы, керамогранита и плитки для пола.

3. Увеличение масштабов утилизации отходов горнодобывающей промышленности будет способствовать решению задачи комплексного использования природных ресурсов. Фракционирование минеральных отходов в местах их образования расширит круг потребителей таких отходов и повысит заинтересованность в них производителей строительных керамических материалов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Павлуненко Л. Е.** Полевошпатовые материалы Украины / Л. Е. Павлуненко // Стекло и керамика. – 2010. – № 7. – С. 20–23.
2. **Кочубей Ю. А.** Сировинна база фарфору, фаянсу, будівельної кераміки та скла / Ю. А. Кочубей // Сировинна база для виробництва фарфору, фаянсу, будівельної



- кераміки та скла. Стан та перспективи розвитку : матеріали III Міжгалуз. наук.-практ. наради, 10–14 вересня 2007 р., смт. Гурзуф, АР Крим. – К. : ПДРГП «Північгеологія», 2007. – С. 8–11.
3. Металічні і неметалічні корисні копалини України : в 2 т. Т. 2. Неметалічні корисні копалини / Д. С. Гурський, К. Ю. Єсипчук, В. І. Калінін та ін. – К.-Л. : Центр Європи, 2006. – 552 с.
4. **ГОСТ 23034-78.** Материалы полевошпатовые и кварц-полевошпатовые. Типы, марки и основные параметры. – Введ. 1979–01–01 ; изм. 2017–12–21. – М. : Госкомитет стандартов при СМ СССР. – 12 с.
5. **Gieré R.** Energy, waste and the environment: a geochemical perspective / R. Gieré, P. Stille. – Bath, UK : The Geological Society PH, 2004. – 670 p.
6. **Гладій О. В.** Сутність проблеми накопичення техногенних відходів, техногенних родовищ в Україні / О. В. Гладій // Наук. вісник Міжнар. гуманітарного університету. Сер. Юриспруденція. – 2017. – № 25. – С. 65–68.
7. **Огородникова С. Ю.** Отходы производства и потребления / С. Ю. Огородникова. – Киров : ООО «Типография «Старая Вятка», 2012. – 94 с.
8. **Гальперин А. М.** Техногенные массивы и охрана окружающей среды / А. М. Гальперин, В. Ферстер, Х.-Ю. Шеф. – М. : Изд-во МГГУ, 2001. – 534 с.
9. **Касимов А. М.** Современное состояние проблемы образования и накопления промышленных отходов в Украине / А. М. Касимов, О. Е. Леонова, Ю. А. Кононов и др. // Экология и промышленность. – № 2. – 2007. – С. 46–51.
10. **Вакалова Т. В.** Рациональное использование природного и техногенного сырья в керамических технологиях / Т. В. Вакалова // Строительные материалы. – 2007. – № 4. – С. 10–16.
11. Использование отходов переработки горных пород при производстве нерудных строительных материалов / О. Харо, Н. Левкова, М. Лопатников, Т. Горностаева // Строительные материалы. – 2003. – № 9. – С. 18–19.
12. Calcium Fluoride Sludge Added into Ceramics Made with Serpentine and Kaolin Tailing Wastes / P. Zhu, Y. Chen, L. Y. Wang et al. // Journal of Hazardous, Toxic & Radioactive Waste. – 2013. – Vol. 17. – Issue 3. – P. 245–250.
13. **Абдрахимов В. З.** Глинистая часть хвостов гравитации циркон-ильменит-полевошпатовой руды Караоткельского месторождения – сырье для керамической промышленности / В. З. Абдрахимов, И. А. Тогжанов, С. Ж. Сайбулатов // ВНИИЗСМ. Сер. Керамическая промышленность. – 1990. – Вып. 1. – С. 5–9.
14. Использование нефелинсодержащих отходов Ловозерского горно-обогатительного комбината / И. В. Шаламова, В. И. Коркин, Б. С. Черепанов и др. // ВНИИЗСМ. Сер. Керамическая промышленность. – 1986. – Вып. 6. – С. 5–7.
15. **Hojamberdiev M.** Utilization of muscovite granite waste in the manufacture of ceramic tiles / M. Hojamberdiev, A. Eminov, Yu. Xu // Ceramics International. – 2011. – Vol. 37. – Issue 3. – P. 871–876.
16. **Ильина В. П.** Использование отходов обогащения щелочных сиенитов Елетьозерского месторождения для изготовления керамических плиток / В. П. Ильина, Г. А. Лебедева // Стекло и керамика. – 2010. – № 7. – С. 3–6.
17. **Комлев С. Г.** Технологические решения переработки отходов флотационного обогащения полевошпатового сырья / С. Г. Комлев, А. В. Мимонов, В. Г. Косенко // Изв. вузов. Горный журнал. – 2007. – № 1. – С. 105–110.
18. **Абдрахимов В. З.** Фазовые превращения при обжиге керамических плиток на основе отходов обогащения / В. З. Абдрахимов // Стекло и керамика. – 1992. – № 3. – С. 23–25.
19. Analysis of the effect of syenite alkali aluminium concentrate (SAAC) on the properties of ceramic products containing the centrifugation waste of a mineral wool melt / O. Kiziničevič, V. Balkevičius, J. Pranckevičienė, V. Kiziničevič // Ceramics International. – 2015. – Part A. – Vol. 41. – Issue 9. – P. 11234–11241.
20. **Блискун С. П.** Комплексне використання кварц-польовошпатової сировини Лозуватського родовища в керамічному виробництві / С. П. Блискун, М. І. Рищенко, О. Ю. Федоренко // Будівельні матеріали і виробн. – 2009. – № 4 (57). – С. 19–22.
21. Перспективы использования и применение отходов горнодобывающей промышленности в производстве плотнospеченной строительной керамики / М. И. Рыщенко, Е. Ю. Федоренко, Л. А. Михеенко, Д. А. Филатов // Экологическая и техногенная безопасность. Охрана водного и воздушного бассейнов. Утилизация отходов : сб. науч. трудов по материалам XVIII Междунар. науч.-техн. конф., 7–11 июня 2010 г., г. Харьков. – Х. : УГНИИ «УкрВОДГЕО», 2010. – С. 81–88.
22. Технологічні принципи отримання керамічного клінкеру на основі важкоспікливої глинистої сировини / Л. В. Присяжна, О. Ю. Федоренко, С. С. Дяков, А. Ю. Гопта // 36. наук. праць ПАТ «УкрНДІВогнетривів ім. А. С. Бережного». – 2013. – № 113. – С. 179–185.
23. **Федоренко Е. Ю.** К вопросу о прогнозировании технологических свойств фельдшпатоидных пород в строительном материаловедении / Е. Ю. Федоренко // Керамика: наука и жизнь. – 2008. – № 2. – С. 49–57.
24. **Федоренко О. Ю.** Прогнозна оцінка флюсуючої здатності сировини для використання в технології клінкерних виробів / О. Ю. Федоренко // Вісник НТУ «ХПІ». – 2007. – № 8. – С. 107–115.

25. **ДСТУ Б.В.2.7-245:2010.** Вироби керамічні клінкерні. Технічні умови. – Чинний від 2011–09–01. – К. : Міністерство регіонального розвитку та будівництва України, 2011. – 30 с.
26. **ДСТУ Б.В.2.7-117-2002 (ГОСТ 6787-2001).** Плитки керамічні для підлог. Технічні умови. – Чинний від 2002–10–01. – К. : Державний комітет України з будівництва та архітектури, 2002. – 11 с.
27. **Fortuna D.** Sanitaryware / D. Fortuna. – Faenza : Gruppo Editoriale, 2000. – 188 p.
28. **Рихванов Л. П.** Радиоактивные элементы в окружающей среде и проблемы радиоэкологии : учеб. пособие / Л. П. Рихванов. – Томск : STT, 2009. – 430 с.
29. **ДБН В.1.4-2.01-97.** Система норм і правил зниження іонізуючих випромінювань природних радіонуклідів в будівництві. Радіаційний контроль будівельних матеріалів та об'єктів будівництва. – Чинний від 1998–01–01. – К. : Державний комітет України у справах градобудівництва і архітектури, 1997 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://profidom.com.ua/v-1/v-1-4/1286-dbn-v-1-4-2-01-97-radiacijnij-kontrol-budivelnih-materialiv-ta-ob-jektiv-budivnictva>.
30. **Рыщенко М. И.** Системный подход к прогнозированию влияния кварц-полевошпатовых материалов на процессы структуро- и фазообразования плотноспеченной керамики / М. И. Рыщенко, Е. Ю. Федоренко // Керамика и огнеупоры: перспективные решения и нанотехнологии : сб. докл. II семинара-совещания ученых, преподавателей, ведущих специалистов и молодых исследователей, 4–6 февраля 2009 г., г. Белгород. – Белгород, 2009. – С. 313–317.
31. **Федоренко О. Ю.** Теоретичні принципи отримання щільноспеченої кераміки за умов енергоощадної термообробки / О. Ю. Федоренко // Вісник НТУ «ХПІ». – Х. : НТУ «ХПІ», 2012. – № 1. – С. 113–117.

Поступила в редакцію 01.02.2018

Досліджено склади і властивості відходів низки підприємств гірничо-збагачувального комплексу та виявлено позитивний вплив досліджених відходів на інтенсифікацію процесів рідкофазового спікання під час виробництва щільноспеченої кераміки. На підґрунті аналізу практичного досвіду і результатів власних досліджень визначено перспективні напрями використання техногенних матеріалів, що утворюються внаслідок переробки порід, які містять луги (гранітів, сієнітів, пегматитів та лужних каоолінів), для отримання керамічного клінкеру, кислототривких матеріалів, керамограніту і санітарно-технічних виробів будівельної кераміки.

The composition and properties of waste at a number of mining and processing enterprises have been studied and the positive influence of the waste on the intensification of liquid-phase sintering processes in the manufacture of construction ceramics by compact sintering has been demonstrated. Based on the analysis of practical experience and the results of a personally conducted research, a number of high-potential directions in the field of use of technogenic materials formed in the process of treatment of alkali-containing rocks (granites, syenites, pegmatites and alkaline kaolins) for the production of ceramic clinker, acid-resistant materials, ceramic granite and sanitary and technical products of building ceramics has been determined.

Вниманию авторов и читателей!

Информируем о возможности подписки
на печатную или электронную версию журнала
через редакцию на любой период.

Стоимость одного номера журнала:
печатный вариант на первое полугодие – 150 грн, на второе полугодие – 180 грн;
электронный вариант – 110 грн.

По вопросам оформления подписки и размещения рекламы
обращаться в отдел маркетинга:
тел.: (057) 752-12-96, e-mail: market@energostal.kharkov.ua